

Eenvoudige inverter voor 6W 16 mm TL buisjes. Simple inverter for 6W 16 mm Fluorescent Lamps.

Versie 1.0, 10-okt 05, Wim Telkamp

Versie 1.1, 20 okt 05,

Versie 1.2, 01 nov 05, toevoeging tips t.b.v. EMC.

Dit document is slechts ter informatie geplaatst op de Website van TeTech. De informatie is bedoeld voor persoonlijk, niet commercieel gebruik. TeTech is niet aansprakelijk voor enige directe of indirecte schade voortvloeiende uit het gebruik van enig gegeven uit dit document. Kopiëren van dit document is toegestaan uitsluitend t.b.v. persoonlijk niet commercieel gebruik, mits in zijn geheel, ongewijzigd en voorzien van bronvermelding. Suggesties tot verbetering zijn zeer welkom.

Locatie <http://www.tetechnl.nl/divers/TL6WOsc1.pdf> .

Copyright © 2005, TeTech.

Samenvatting.

Dit document toont een eenvoudige DC / AC omzetter ("*Lamp Driver, Electronic Ballast, Inverter*") welke rechtstreeks een miniatuur 6W tot 8W TL buis kan aansturen (F6T5, F8T5). De inverter is bedoeld om gebruikt te worden op een 12V accu.

De omzetter is een ongebalanceerde Klasse E oscillator werkend rond 100 kHz. Als stabilisatie voor de ontlaadstroom is een smoorspoel gebruikt. De benodigde smoorspoel en transformator bevinden zich op dezelfde ferrietkern.

Voor een klasse E oscillator is gekozen vanwege de eenvoud, binnen zekere grenzen instelbaar uitgangsvermogen, het behoorlijke rendement, het relatief eenvoudig transformatorontwerp en de actieve component hoeft relatief weinig reactief vermogen te leveren. Door de geringe flanksteilheid is ongewenste uitstraling (EMC) goed in de hand te houden.

Nadelen zijn het hogere aantal componenten ten opzichte van een Royer Type Inverter en een hogere fluxdichtheid in de trafo bij zeker te leveren vermogen.

Uitgebreide informatie over het ontwerpen en/of dimensioneren van klasse E oscillatoren is te vinden in: "classEosc.pdf". De link is:

<http://www.tetechnl.nl/divers/classEoscHV.pdf> .

De afbeeldingen in dit document met golfvormen zijn verkregen door simulatie met B² spice A/D v4.2 van "Beige Bag" software. De golfvormen komen behoorlijk overeen met de praktische resultaten.

Inhoudsopgave.

1. Inleiding TL buizen ("Fluorescent Lamps").	3
1.1. <i>Waarom TL buizen?</i>	3
1.2. <i>Specifieke eigenschappen TL-buis.</i>	3
1.3. <i>Typen buizen.</i>	5
1.4. <i>Startstrategieën.</i>	5
1.5. <i>Wel of niet kortsluiten van de elektroden?</i>	6
1.6. <i>De 6W/16mm buis (F6T5), globale specificaties.</i>	8
1.7. <i>Verder lezen.</i>	8
2. De simpele DC/AC inverter.	9
2.1. <i>Inleiding.</i>	9
2.2. <i>Schema en componentenlijst.</i>	10
2.3. <i>Korte Schemabeschrijving.</i>	13
3. Eerste keer opstarten en tips.	16
3.1. <i>Veiligheid.</i>	16
3.2. <i>Eerste keer opstarten en tips.</i>	16
4. EMC (Elektro Magnetische Compatibiliteit).	18
4.1. <i>Inleiding.</i>	18
4.2. <i>EMC-Tips t.b.v. deze inverter.</i>	18
5. Verbeteringen en modificaties.	20
6. Ondersteuning.	21

1. Inleiding TL buizen ("*Fluorescent Lamps*").

Alvorens in te gaan op de details van de schakeling, eerst iets over TL-buizen.

Op diverse plekken zijn *schuin gedrukt* Engelstalige benamingen weergegeven. Dit vereenvoudigt het zoeken naar gerelateerde documenten.

1.1. *Waarom TL buizen?*

Voor veel verlichtingstoepassingen waar "wit" licht vereist is, is de TL buis (fluorescentie buis/lamp, "*fluorescent Lamp*") nog steeds een van de beste alternatieven. Ze zijn goedkoop, gaan lang mee en hebben een hoge lichtopbrengst per W toegevoerd elektrisch vermogen (voor de "*High Efficiency, HE*" typen in orde van 100 Lm/W tegenover 15 Lm/W voor gloeilampen). De ingeburgerde "Compact Fluorescent Lamps" (CFL) halen rendementen in orde van 45 Lm/W.

Anno 2005 is de lichtopbrengst per Watt ("*Efficacy*") van witte LED's nog steeds minder (50 Lm/W), en de prijs nog steeds veel hoger (t.o.v. TL-verlichting). De verwachting is wel dat op termijn, het rendement van witte LED's hoger zal zijn dan dat van wit licht gasontladingslampen. Zeker als men ook rekening houdt met de verliezen in het voorschakelapparaat.

Laagvermogen (korte) TL buizen hebben in de regel een lager energetisch rendement (50 Lm/W) dan lange buizen (100 Lm/W). Dit komt omdat een deel van de lampspanning nodig is om de generatie van vrije elektronen in stand te houden ("*cathode fall*", rond 10-15V). Dit spanningsverlies is gelijk voor zowel lange als korte buizen.

Het uiteindelijk aantal Lm/W is bij TL verlichting van veel factoren afhankelijk, zoals de temperatuur van de "cold spot" ter plekke van de tekstopdruk, de oriëntatie van de lamp, het gebruikte armatuur en het voorschakelapparaat ("*ballast*").

1.2. *Specifieke eigenschappen TL-buis.*

Algemeen.

Een TL buis werkt volgens het principe van gasontlading. Een TL-buis is een lage druk gasontladingsbuis. De gasontlading ("*gas discharge*") wekt onder andere UV straling op (afkomstig van de kwikdamp). Een gedeelte van de UV straling wordt door de fosforlaag op de binnenzijde van de buis omgezet in zichtbaar licht. De kleur/tint van het uitgestraalde licht wordt bepaald door de samenstelling van de fosforescerende laag. Buizen voor opwekking van UV-straling (zonnebanken, sterilisatie, initiatie chemische reacties, etc) hebben een andere of geen fosforescerende laag. Het gebruikte glas voor de buis heeft eveneens invloed op het spectrum van de uitgezonden straling.

Net als vlamboogen hebben gasontladingslampen een in het oog springend nadeel: de ontsteekspanning ("*strike voltage, ignition voltage*") is veel hoger dan de bedrijfsspanning en hoe hoger de ontladingsstroom, hoe lager de spanning over de gaskolom. Er is sprake van negatieve weerstand/geleiding ($dV/dI < 0$).

Men kan een TL buis daardoor niet rechtstreeks op een spanningsbron aansluiten. Hij gaat of uit, of blaast zichzelf op. In serie met een TL buis dient altijd een weerstand of impedantie geschakeld te worden waarvan de impedantie hoger is dan de absolute waarde van de negatieve weerstand van de TL buis. Het in serie schakelen van een

weerstand is niet handig omdat deze elektrisch vermogen dissipeert en daarmee het aantal Lm/W reduceert. Een condensator is ook af te raden omdat deze zijn energie in een zeer korte tijdspanne afgeeft (denk aan de condensator in een flitser). In hoogfrequent ballasts, waarbij de hoogspanning sinusvormig is, kunnen wel condensatoren gebruikt worden. Het gas blijft bij HF voorschakelapparaten continu geïoniseerd.

Het voorschakelapparaat (VSA, "*vorschaltgeräte*", "*Ballast*", "*Control Gear*") zorgt voor de juiste ontsteekspanning, eventueel voorverwarmen van de elektroden en juiste bedrijfsstroom. De traditionele voorschakelapparaten voor 230V bedrijf ("*magnetic ballast*, "*conventional control gear*, "*CCG*") bestaan meestal gewoon uit een smoorspoel in combinatie met een starter (zie figuur 1). In landen met 110Vac komt men autotransformatoren tegen om de spanning op te krikken. De starter ("*glow switch starter*") sluit de buis kort via de gloeidraden ("filaments"). De smoorspoel beperkt nu de stroom. De smoorspoelstroom gaat nu volledig door de gloeidraden t.b.v. voorverwarming ("*pre-heat*") en over de buis staat slechts weinig spanning. Na enkele seconden opent de starter en ontsteekt de buis.

De moderne hoogfrequent elektronische voorschakelapparaten ("*electronic ballasts*, "*electronic control gear*, "*ECG*"), zoals aanwezig in CFL's, zijn in feite geschakelde voedingen met wel of geen programma's om de buis zo goed mogelijk te starten. HF voorschakelapparaten profiteren van het feit dat TL buizen bij hoge frequenties meer Lm/W produceren.

Warme kathoden.

De TL buis heeft elektroden welke tijdens bedrijf voldoende warm dienen te zijn ("*Hot Cathode Fluorescent Lamp*"). De meeste fabrikanten adviseren een kathodetemperatuur van 700 °C. Dit in tegenstelling tot de "*Cold Cathode Fluorescent Lamp*, "*CCFL*", die bijvoorbeeld gebruikt wordt in de verlichting van LCD schermen.

De elektroden zijn voorzien van een coating (oxidelaag met lage "*work function*") welke bij verhitting makkelijk elektronen afgeeft ("*thermionic emission*", net als in een radiobuis met indirect verhitte kathode). De losgekomen elektronen vergemakkelijken het ioniseren van het gas (lagere ontsteekspanning "*strike voltage*") en verhogen het rendement ("*efficacy*"). De elektronenwolk rondom de elektrode vermindert eveneens inslagen van snelle positief geladen ionen waardoor de coating minder snel beschadigd wordt (in dit geval ongewenste "*sputtering*"). De coating op de elektroden is nogal kwetsbaar.

Waar het op neer komt, is dat als de elektroden te warm zijn de coating verdampt en als de elektroden te koud zijn, snelle positief geladen ionen de coating vernielen ("*sputtering*"). Het verdampte of door ionen losgerukte materiaal slaat neer op de buis en is zichtbaar aan de zwarte plekken aan de einden van de buis ("*end-blackening*").

Het dimmen van TL buizen door gewoon de ontladingsstroom te verminderen, verlaagt tevens de elektrodetemperatuur en daarmee de levensduur (in tegenstelling tot wat men zou verwachten). Goede TL buis dimmers hebben extra circuits om bij lage buisstroom (gedimde buis), de gloeidraden bij te verwarmen (extra stroom door de gloeidraden). Het niet goed ontsteken van een buis (waarbij hij slechts weinig licht geeft) is desastreus voor de levensduur van de buis.

Ter info *Cold Cathode Fluorescent Lamps*, *CCFL's* kunnen zonder verkorting van de levensduur gedimd worden. Zij hebben doorgaans wel een lager conversierendement dan *Hot Cathode Fluorescent lamps*.

Om ongelijkmatige slijtage van de elektroden te voorkomen en ongelijke verdeling van het kwik te voorkomen (bij lange buizen), dienen TL buizen bij voorkeur op wisselstroom bedreven te worden. Tevens dient de crest factor (I_{top}/I_{rms}) van de stroom zo laag mogelijk te zijn. Hoge stroompieken geven namelijk wel extra slijtage en warmte, maar nagenoeg niet meer licht. Normaliter wordt een sinusvormige lampstroom verondersteld. Sturen met een blokvormige spanning in combinatie met een condensator als stroombegrenzend element geeft hoge piekstromen.

1.3. Typen buizen.

Er zijn zeer veel typen buizen voor uiteenlopende toepassingen. Te denken valt aan verlichting algemeen, speciale vitrineverlichting, groeibevordering, bruinen van de huid, Sterilisatie, blacklight voor in de disco, etc. De buis in een Compact Fluorescent Lamp (CFL) is een gebogen TL-buis met een fosformengsel dat wit/oranje-achtig licht uitzendt.

Aan de hand van de afmetingen (lengte, en dikte) en type elektrodeaansluiting is niet met volledige zekerheid na te gaan wat men voor buis heeft. Voorts kan de fabrikant optimaliseren op maximale lichtopbrengst bij gegeven buisafmetingen of maximaal energetisch rendement. Kortom, bij het vervangen van een TL buis of voorschakelapparaat dient men na te gaan of de buis goed werkt in combinatie met het voorschakelapparaat.

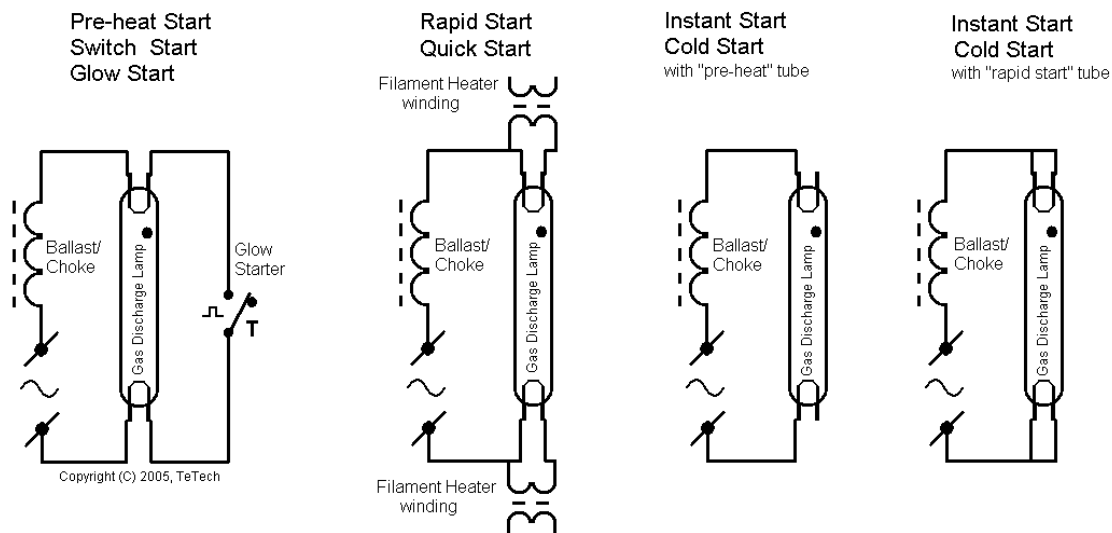
1.4. Startstrategieën.

De spanning waarbij de buis ontsteekt, ligt aanmerkelijk hoger dan de bedrijfsspanning. Er zijn diverse manieren om de buis te starten. De naamgeving is helaas niet consistent. Ze zijn onder te verdelen in drie categorieën. Figuur 1 toont de vereenvoudigde aansluitschema's waarbij een spoel als stroombegrenzend element gebruikt is.

Voorverwarmen met starter ("pre-heat start, switched start, triggered start"): dit is een van de oudste commerciële systemen. Door de starter ("starter switch") wordt de smoorspoelstroom door de twee gloeidraden ("filaments") geleid. Hierdoor warmen de elektroden op tot tenminste 700 °C (duurt enkele seconden). Over de buis (dus tussen de twee elektroden), bevindt zich dan een lage spanning, ver beneden de minimale ontsteekspanning voor warme elektroden. Na enige tijd opent de starter en valt de open spanning volledig over de buis. De buis ontsteekt als het goed is direct. De spanning zakt vervolgens automatisch in tot de bedrijfsspanning en –stroom (vanwege de smoorspoel). Er is altijd een buis nodig met twee pennen per buiseinde. Er bestaan ook elektronische varianten op dit principe.

Voorverwarmen tegelijk met hoge spanning over de buis ("rapid start, quick start"): Via twee extra transformatorwikkeling worden de gloeidraden verwarmd terwijl tegelijkertijd spanning over de buis staat. Dit startprincipe is te herkennen aan het eerst met lage intensiteit branden van de lamp en vervolgens (enkele seconden) op volle sterkte komen. Er is géén starter aanwezig. Er zijn magnetische en elektronische varianten. Indien de lamp brandt, kan de gloeidraadstroom gereduceerd of verwijderd worden.

Er zijn diverse varianten op dit principe, meestal "programmed start" genoemd. Uit literatuur blijkt dat veel "rapid start ballasts" de buis te vroeg ontsteken. De elektroden zijn daardoor niet warm genoeg waardoor extra slijtage ontstaat en het levensduurvoordeel ten opzichte van koud starten verdwijnt.



Figuur 1: Aansluitschema's diverse Startmethoden.

Koude start ("Cold Start", "Instant Start"): er wordt een dusdanig hoge spanning aangebracht welke minimaal gelijk is aan de koude startspanning. De buis start direct of binnen een paar tienden van een seconde. Bij vaak aan- en uitzetten wordt de levensduur van de buis verkort. De lamp werkt enige tijd met onvoldoende warme elektrodes. Het nadeel van deze methode -voor de elektronica-ontwerper-, is de aanmerkelijk hogere startspanning in vergelijking met warm starten. De hoge spanning wordt vaak door resonantie verkregen. LET OP: spanning tot boven 700V kan optreden tijdens het starten (grote buizen). Niet alle armaturen zijn daarvoor gecertificeerd.

De wisselspanning in figuur 1 kan zowel 50/60 Hz als hoogfrequent (20..200 kHz) zijn.

Sommige lamp-VSA combinaties vereisen dat het armatuur ("*luminaire, fixture*") metaal bevat. Het metaal, eventueel aangebracht in de vorm van een strip dicht tegen de buis, dient aan een van de buiselektroden verbonden te zijn (de zogenaamde "*starting strip*"). Dit verlaagt de minimale ontsteekspanning aanmerkelijk. In veel armaturen wordt het metaal van de reflector gebruikt.

1.5. Wel of niet kortsluiten van de elektroden?

Bij traditionele TL armaturen met starter ("*pre-heat or switched start*", TL'D' buizen) gaat de buisstroom tijdens normaal bedrijf door slechts één van de twee elektrodepennen (figuur 1, links). De elektroden zijn zo gedimensioneerd dat bij nominaal bedrijf de ontladingsstroom (de stroom welke door de buis gaat) samen met de '*cathode fall*' voldoende is om de elektroden op de minimale bedrijfstemperatuur te houden.

Bij voorschakelapparaten met extra wikkelingen voor het verwarmen van de elektroden ("*rapid start, quick start*"), wordt de buisstroom ("*discharge current*") nagenoeg gelijk verdeeld over de twee pennen.

De meningen lopen uiteen over het wel of niet kortsluiten van de pennen aan iedere kant van de buis, als men deze lampen zonder gloeistroom wenst te gebruiken ("*instant start*", "*slim line*" voorschakelapparaten). Uit de specificaties t.b.v. het dimmen van TL5 buizen (PHILIPS) en diverse *Compact Fluorescent Lamps* (General

Electric) volgt dat bij nominaal bedrijf de pinnen niet kortgesloten hoeven te worden. Wel kortsluiten doet de buisstroom verdelen over de twee pennen. Dit zal wellicht leiden tot een iets lagere elektrodetemperatuur.

Men kan de modernere TL5 buizen dus gewoon starten volgens een "pre-heat" concept (figuur 1, eerste plaatje). Men kan de starter vervangen door een handmatig of elektronisch onderbreekcircuit met timer. Dit werkt ook goed in geval van HF ballasts. De ontsteekspanning is bij voorverwarmde elektroden aanmerkelijk lager dan bij koude start. Dit vereenvoudigt het ballastontwerp. Opgemerkt dient te worden dat volgens de fabrikanten het aantal Lm/W van de modernere buizen alleen gehaald worden bij HF bedrijf (25 kHz). Dit betekent dat de buis wel werkt op 50/60 Hz, maar minder optimaal.

Sommige TL buizen hebben slechts één elektrode (pin) per kant (of de twee pennen zijn intern kortgesloten). Het mag duidelijk zijn dat deze buizen alleen met "*instant start*" voorschakelapparaten kunnen worden gebruikt.

1.6. De 6W/16mm buis (F6T5), globale specificaties.

De genoemde waarden zijn slechts bedoeld als indicatie.

Lengte (zonder pinnen)	21 cm
Diameter	16 mm (5/8")
Bedrijfsspanning:	40 V
Bedrijfsstroom:	160 mA.
Neg. resistance tijdens nominaal bedrijf (abs.waarde)	<100 Ohm
Gloeidraadstroom voor voorverwarmen "pre-heat" current:	160-220 mA
Ontsteekspanning warm "pre-heat strike voltage":	>108V
Ontsteekspanning "cold cathode":	>300V (zeer globale waarde)
Rendement "efficacy, lamp only":	50 Lm/W (dat is best laag)

Een F8T5 lamp dient bedreven te worden op ongeveer 145 mA, bij een spanning van rond de 55V. De warme startspanning is ongeveer 110V. De genoemde spanningen zijn temperatuurafhankelijk (nemen toe bij lagere temperatuur). De 8W lamp heeft een hoger aantal Lm/W.

De meeste inverters voor 6..24V voedingsspanning gebruiken koude start en bedrijven de lamp beneden zijn nominale stroom. De aansluitpennen aan iedere kant worden kortgesloten. De elektrodetemperatuur is daardoor vaak te laag. Dit is merkbaar aan de levensduur van de buis in de meest (goedkope) inverters. De buis wordt aan de einden snel zwart ("*end-blackening*"). Er zijn ook inverters welke de buis op DC bedrijven. Dit wordt door praktisch alle fabrikanten van TL-buizen afgeraden.

1.7. Verder lezen.

Meer informatie over fluorescentielampen (en andere verlichting) is onder andere te vinden op:

1. <http://members.misty.com/don/> (Donald (Don) L. Klipstein),
2. PHILIPS document: "Philips 'TL'5 Lamps", november 2000 (bijzonder gedetailleerd, mijn Web link doet het niet meer).
3. <http://nemesis.lonestar.org/reference/electricity/fluorescent/> (Frank Durda)
4. Websites van bijv Philips, Osram, Sylvania, NEC, Toshiba, Tungsram.

Het vinden van gedetailleerde specificaties van fluorescentielampen t.b.v. het dimensioneren van een inverter is een tijdrovende klus.

2. De simpele DC/AC inverter.

2.1. Inleiding.

De eenvoudige inverter is enkele jaren geleden voortgekomen uit vermogensexperimenten binnen TeTech met MOSFET's. Dit om praktische ervaring te verwerven met MOSFET's onder diverse omstandigheden. Min of meer als grap is een hoogspanningswikkeling aangebracht om een lamp (18W TL buis) te laten branden (vermogen moet toch ergens in verstookt worden). De hier getoonde schakeling is aangepast om een kleine 6W TL buis te kunnen sturen. De meeste uren zaten in het boven tafel krijgen van de TL buis specificaties....

De inverter bestaat uit een één-transistor klasse E oscillator werkend rond 100 kHz. Het drainrendement bedraagt meer dan 85%. Via een transformator wordt de spanning opgetransformeerd naar 160 Vrms (resonantievrij). Een seriespoel (smoorspoel, "Choke, Ballast") begrenst de kortsluitstroom tot 160 mA. Een "warme start" is mogelijk, ook bij lagere temperatuur. "koud starten" is ook mogelijk.

Er is speciaal gekozen voor een smoorspoel als stroomstabiliserend element. In sommige ontwerpen wordt van een condensator gebruikt gemaakt. Dat is wel goedkoper, maar zorgt voor aanmerkelijk meer ongewenste uitstraling (EMC aspect). De meeste inverters met hoog rendement, wekken namelijk geen sinusvormige uitgangsspanning op. Een goede smoorspoel filtert veel hogere harmonischen weg.

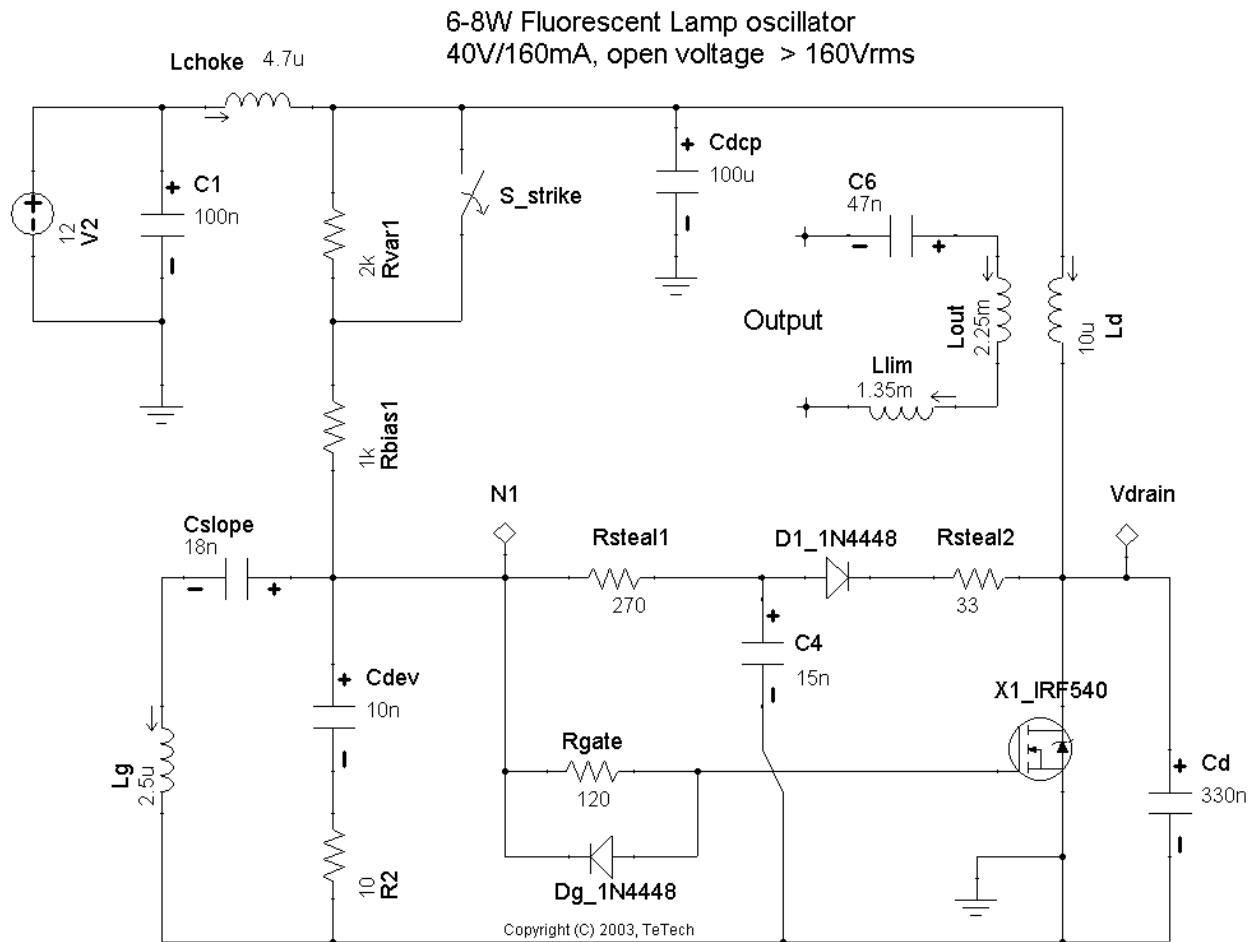
De oscillator beschikt over een voorziening om gedurende korte tijd de uitgangsspanning te verhogen met een factor 2 (dus rond 320V). Hiermee is tevens koude start mogelijk (handmatig). Dit is echter niet perse nodig. Indien u hiervan geen gebruik wenst te maken, kan de transformator aanmerkelijk kleiner uitvallen. Het kortsluiten van de buis via de gloeidraden ("*pre-heat start*") gevolgd door verbreken geeft eveneens een goed startgedrag.

Zowel de oscillatorspoel, hoogspanningswikkeling en smoorspoel bevinden zich op één E-kern. De trafo is voor hobbymatige toepassing eenvoudig te wikkelen. De hoogspanningswikkelingen bevinden zich op de buitenbenen. De oscillatorspoel en terugkoppelspoel bevinden zich beiden op het middenbeen van de E-kern.

De uitgangsspanning/uitgangsstroom is niet gestabiliseerd. Er is eveneens geen lampspanningsbewaking. Voor gebruik anders dan hobbybedrijf zijn deze voorzieningen zeker nodig. Het circuit is echter wel bestaand tegen iedere willekeurige ohmse belasting (dus inclusief onbelast en kortgesloten bedrijf). Vermijd echter capacatieve belastingen.

Door het relatief langzaam schakelen en de geringe flanksteilheid van de uitgangsspanning, is ongewenste uitstraling (problemen met EMC) goed in de hand te houden. Dit is van belang omdat in dezelfde ruimte waar de inverter gebruikt wordt ook Kortegolf ontvangers aanwezig zijn.

2.2. Schema en componentenlijst.



Figuur 2: Schema van de eenvoudige fluorescent lamp inverter.

Componentenlijst:

Rsteal1, Rsteal2, Rgate, Rbias1, R2,
0.25W, carbon of metaalfilm tol: <5%.

Rvar1

Instelpotentiometer (groot model) 5kOhm startinstelling: looper in het midden.

S_strike

Drukknop (hij moet openen na loslaten, dus geen schakelaar gebruiken).

Cd

330n polypropyleen condensator (MKP of equiv.), >400Vdc. Gebruik geen laagspanning polyester condensatoren (MKM, MKT), deze worden heet ten gevolge van de hoge verliesfactor bij 100 kHz, Plaatsing: zo dicht mogelijk bij MOSFET (EMC en rendement). Samenstel uit bijv 100n en 220n links en rechts van de MOSFET zeer gunstig t.b.v. EMC.

Cslope

18nF/>100V polyesterfilm of beter, eventueel 2 stuks van 10nF parallel

Cdev

10nF/>100V polyesterfilm of beter.

C4

15nF/>100V polyesterfilm of beter.

C1

47..220nF/ >63V, polyester of beter. Plaats de aansluitingen voor de 12V voeding zo dicht mogelijk bij deze condensator (reductie ongewenste uitstraling).

Cdcp

Waarde niet kritisch, alles tussen 68u en 220u/>25V is OK. Wel low ESR ELCO's gebruiken, eventueel 2 of 3 kleinere parallel schakelen. Gewone ELCO's worden te heet ten gevolge van de hoge HF rimpelstroom.

C6

33...150n/>200V, polyester of beter.

dg, d1

Diode 1N4448 of equivalent, bijvoorkeur geen 1N4148. Intrinsieke weerstand van 1N4448 is lager.

X1_IRF540

Mosfet IRF540. Ieder type 100V/20A FET is OK. Gebruik geen "low gate" drive MOSFETS. De maximaal optredende piekstroom bedraagt 10A, de maximale spanning 70V. de 20A spec is alleen vanwege de lage R_{DSon} (lagere geleidingsverliezen). Gebruik geen FET met overbodig hoge V_{ds} (hebben hogere R_{DSon}). Wellicht dient R_g aangepast te worden bij een ander type FET.

Lchoke

Waarde niet kritisch, 4-10uH is OK, lage Q factor is gewenst, R_{dc} in orde van 0.1-0.3 Ohm. Denk aan de bedrijfsstroom van rond de 0.6A.

Lg, Ld, Llim, Lout

Zie transformatorbeschrijving.

De Transformator.

De transformator is een kritisch onderdeel in deze schakeling. Voordat u gaat bouwen, kijk eerst of u twee E-kernhelften met een kerndoorsnede van ong 165 μm^2 (165 mm^2) kunt krijgen. Voor dit experiment is een E 42/21/15 kernset gebruikt (N67 materiaal, verkrijgbaar bij onder andere RS Components en Farnell). Er worden geregeld kernen in N27 en 3C8 materiaal te koop aangeboden (vlooiemarkten). De verliezen van deze materialen zijn echter wel hoger. Als u dit op de koop toeneemt, kunt u kernen van deze materialen ook gebruiken. De overige componenten zijn makkelijk verkrijgbaar.

De transformator vervult diverse functies:

- Hij is Oscillatorspoel (Ld samen met Cd vormt de resonantiekering).
- Hij zorgt voor de terugkoppeling (Lg),
- Hij zorgt voor de 1:15 spanningstransformatie (Lout).
- Hij begrenst de lampstroom ($k = 0.79$, Llimit) tot ong. 160mA.

De transformator is ontworpen met als uitgangspunt dat hij hobbymatig gemaakt moet kunnen worden. Een grotere kern dan strikt noodzakelijk voorkomt dat veel windingen gelegd dienen te worden en galvanische scheiding (isolatie) is eenvoudiger. De transformator bevat alle spoelen welke in het schema staan (behalve Lchoke).

Het ontwerp is gebaseerd op een E-kernset E 42/21/15 (ungapped, kerndoorsnede ong. 170 μm^2). Tussen de twee kernhelften dient u 170 μm dik isolatiemateriaal te plaatsen om een effectieve luchtspleet te creëren van 340 μm (0.34mm, 2·170 μm). Met papierlaagjes is dit goed te doen. Het resultaat is dat tussen alle benen een gelijke luchtspleet aanwezig is (van 0.17 mm). Dit is noodzakelijk voor goede werking. De lengte van de luchtspleet is evenredig met het kernoppervlak. De fluxdichtheid blijft

onder 80mT (onder 40mT tijdens normaal bedrijf). Een kleinere kerndoorsnede geeft bij dit aantal windingen een grotere fluxdichtheid.

Gebruik een ferrietmateriaal dat bij 100 kHz goed presteert. Het is zonde om elektrisch vermogen in de kern kwijt te raken. Bij gebruik van N67 materiaal (100-300 kHz materiaal), bedragen de kern verliezen in orde van 250 mW of minder. Goed bruikbaar materiaal is bijv: N67, N87, 3F3, 3C90/91, etc.

Wikkelgegevens (n = aantal windingen, d = draaddiameter):

Ld:

Gewikkeld om middenbeen, n = 4, d = 1.2..1.8 mm, windingen niet tegen elkaar leggen (proximity effect, geeft onnodige verliezen).

Lg:

Gewikkeld om middenbeen, n = 2, d = 0.5..1 mm,

Lout, Llimit,

Om linker buitenbeen n = 27, d = 0.18..0.25 mm,

Om rechter buitenbeen n = 99, d = 0.18..0.25 mm,

Beide spoelen elektrisch in serie plaatsen opdat de spanningen sommeren.

Aangezien de meeste E-kernen niet geleverd worden met spoelkokers voor de buitenbenen, dient u zelf spoelkokers te maken. Dit kan eenvoudig door een strook 160gr/m² papier 2-3 keer om het buitenbeen te vouwen met lijm ertussen. Na droging heeft men een stevige rechthoekige koker waarop de windingen gelegd kunnen worden. Voor de primaire wikkeling dient men een stukje hout op maat te maken. Het verdient aanbeveling om tussen de twee lagen van de spoel met n=99, enige isolatie aan te brengen (bijv papier).

Alleen indien u ervaring heeft met het ontwerpen van magnetische circuits is eigen ontwerp aan te raden. Bij dit ontwerp is onder bedrijfsomstandigheden de fluxdichtheid in de drie benen van de E-kern niet gelijk.

U kunt ten behoeve van experimenten de ontwerpprocedure sterk vereenvoudigen door uit te gaan van een losse transformator (Lprim = 10uH, n = 15, n_{feedback} = 0.5) en losse smoorspoel (Llimit = 1.35mH). De magnetisatiestroom (incl. DC component) voor een losse transformator tijdens bedrijf, bedraagt 2.5A_{piek}. tijdens starten (met de startknop) bedraagt de magnetisatiestroom maximaal 10A_{piek}.

Dimensioneer uw smoorspoel op 300 mA. Dit is vanwege de hogere stroom tijdens starten. De smoorspoel mag hierbij niet in verzadiging gaan. U kunt gerecyclede ferrietstaven gebruiken (lengte 80..120mm).

Koeling.

Onder normaal bedrijf is de dissipatie van de FET minder dan 0.8W. Daardoor is bij gemiddelde omgevingstemperatuur in principe geen extra koelplaat nodig. Toch is het aan te raden wel extra te koelen (verhoogde omgevingstemperatuur). Dit kan door de FET op de printplaat te schroeven. Een kopervlak in orde van 6 cm² is voldoende. Op dit vlak kunt u ook de condensatoren en spoel bevestigen.

Tijdens startbedrijf is de dissipatie aanmerkelijk hoger in orde van 5W, maar dit is gedurende hooguit enkele seconden. U kunt dit vermijden door "pre-heat" start te gebruiken. Zie ook verbeterpunten.

2.3. Korte Schemabeschrijving.

Voor een uitgebreide beschrijving van de werking van de klasse E oscillator wordt verwezen naar: <http://www.tetech.nl/divers/classEosc.pdf>. In dit document wordt een summier beschrijving gegeven.

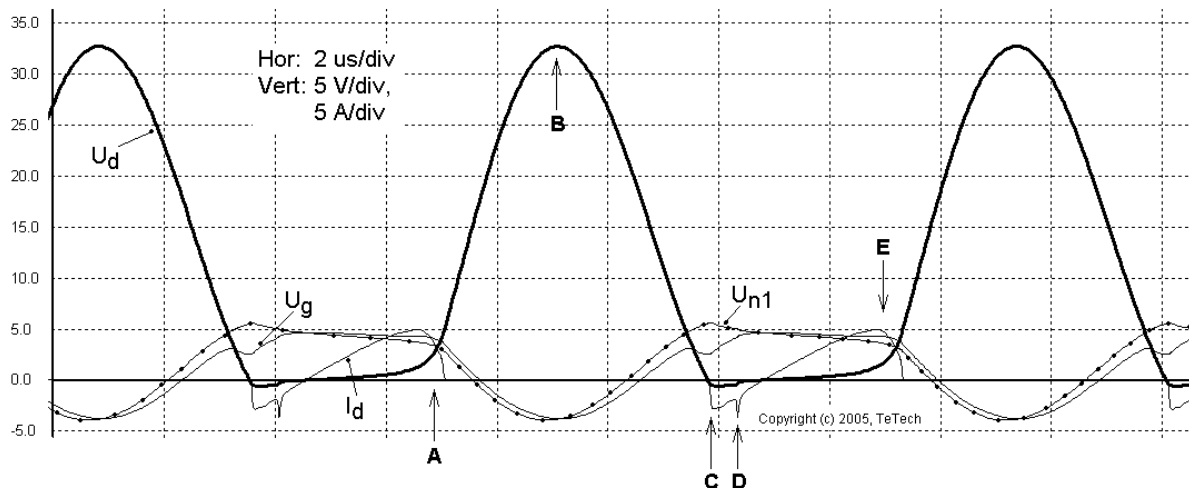
De oscillator lijkt op een klasse C oscillator in een Common Source Circuit. Het resonantiecircuit wordt gevormd door L_d (gewikkeld op middenbeen van de E-kern) en C_d . Dit resulteert in een resonantiefrequentie van ongeveer 88 kHz. Indien de output kortgesloten wordt neemt L_d schijnbaar af tot 3.75 μH . De vrije resonantiefrequentie bedraagt dan 140 kHz.

De AC terugkoppeling naar de gate vindt plaats via L_g (gewikkeld op middenbeen van de E-kern). Zodra de oscillator aanslaat wordt de gatespanning verminderd via het pad R_{steal1} , $D1$, R_{steal2} (DC tegenkoppeling). $C4$ voorkomt AC tegenkoppeling via de Drain naar de Gate. $D1$ is noodzakelijk omdat een MOSFET geen Basis-Collector diode heeft welke basisstroom weg kan roven. C_{dev} zorgt samen met C_{slope} voor enige spanningsdeling.

Indien bij een klasse C oscillator de gemiddelde gate spanning wordt verhoogd (DC offset), zal de MOSFET gedurende langere tijd in verzadiging gaan. Normaal gesproken komt de MOSFET of transistor dan in geleiding vóórdat de kringspanning zijn minimale waarde bereikt heeft. Dit verlaagt het rendement. In dit circuit zorgt R_g voor een inschakelvertraging waardoor de MOSFET pas in geleiding komt wanneer U_{DS} nagenoeg 0 V is. D_g zorgt ervoor dat er nagenoeg geen uitschakelvertraging is. Indien de MOSFET snel genoeg schakelt, is I_d reeds 0 voordat U_d noemenswaardig gestegen is.

In onderstaande figuur is I_d , U_d , U_g en U_{n1} weergegeven.

Voltage and Current wave forms in the Class E Simple Fluorescent Lamp driver



Figuur 3, golfvormen in de klasse E oscillator.

Een toelichting:

We beginnen op tijdstip A (figuur 3). Zie het schema (figuur 2) voor de spanning en stroomdefinities.

Iets vóór tijdstip A begint de MOSFET uit verzadiging te gaan. Iets er voorbij is hij volledig uit. I_{Ld} gaat dan volledig door C_d . U_d blijft stijgen totdat $I_{Ld} = 0$ (punt B). U_d is nu aanmerkelijk hoger dan 2 keer de voedingsspanning. Daardoor wordt I_{Ld} negatief (loopt naar boven in het schema). U_d daalt nu en zal negatief worden.

Er ontstaat nu automatisch een negatieve I_d (tijdstip C). Dit komt omdat de interne Source Drain diode ("body diode") in geleiding komt. In de tijdspanne C-D is te zien dat U_g lager is dan U_{n1} (inschakelvertraging). Op tijdstip D komt de MOSFET in geleiding. De spanning over de FET is minimaal waardoor er nagenoeg geen inschakelverliezen zijn. I_d neemt nu nagenoeg lineair toe. Gelijktijdig neemt door de hoogdoorlatende werking van C_{slope} , U_{n1} (en U_g) af. Op tijdstip E is U_g zo laag geworden dat de FET uit geleiding/verzadiging begint te raken. U_d stijgt snel waardoor U_{n1} snel daalt. Via D_g wordt deze daling doorgegeven aan de gate en komt de FET snel uit geleiding en herhaalt het proces zich. Het geleidelijk uit verzadiging raken is verantwoordelijk voor het grootste deel van de dissipatie van de FET (zie ook "verbeteringen").

De tijdsduur dat de FET in geleiding blijft, wordt voornamelijk bepaald door C_{slope} , de maximale waarde van U_{n1} en in mindere mate de I_d . U_{n1} wordt bepaald door de spanningsdeler R_{var1} , R_{bias1} en R_{steal1} . Een kleinere waarde voor R_{var1} zorgt voor een hogere U_{n1} -top en dus een langere geleidingstijd. Daardoor wordt I_d , en dus I_{Ld} hoger waardoor ook U_d meer opslingert. Voor goede werking van klasse E schakelingen, dient $U_{d-top} > 2.5 \cdot U_v$ te zijn en dient de ohmse belasting niet te zwaar te zijn. Zo niet, dan daalt U_d niet meer tot 0V. Dit verlaagt het rendement en de amplitude kan instabiel worden.

Door het langer in geleiding zijn van de transistor, ligt de oscillatiefrequentie altijd beneden de vrije resonantiefrequentie van L_d , C_d . Hier bedraagt de oscillatiefrequentie rond 110 kHz.

R_{bias1} is zodanig gekozen dat indien S_{strike} gesloten is, U_{d-top} tot ongeveer 60-70V stijgt.

Onder normaal bedrijf bedraagt U_{d-top} ongeveer 31V. Via de transformator wordt deze spanning opgetransformeerd tot $465 V_{top-top}$ ($164V_{rms}$). L_{limit} (1.35 mH) heeft bij 110 kHz een reactantie van 933 Ohm. Dit resulteert in een kortsluitstroom van $164/933 = 170mA$. Indien de lamp aangesloten is, bedraagt $I_{lamp} \approx 150 mA$.

Opmerking:

In principe kan men een secundaire wikkeling ontwerpen waarbij $>300V_{rms}$ in plaats van $164V_{rms}$ opgewekt wordt. Het nadeel hiervan is dat bij aangesloten lamp ongeveer $300V_{rms}$ over de smoorspoel (L_{limit}) valt (bij 160mA). Dit resulteert in een blindvermogen dat 7.5 keer hoger is dan het reële vermogen. Om het verliesvermogen in de smoorspoel te beperken tot 10% van het lampvermogen, is een Q factor van minimaal 75 vereist. Tests wijzen uit dat de totale verliezen in de transformator meer bedroegen dan 10% van het lampvermogen.

In geval van $164V_{rms}$ is slechts een Q van 3.8 vereist. Tests wijzen uit dat de verliezen in de transformator sterk afnemen.

De fluxdichtheid in de E-kern is dusdanig laag dat tijdens het ontsteken (druk op de S_{strike} button) de flux nog steeds ver beneden de verzadigingsfluxdichtheid blijft. De optredende verliezen zijn geen probleem daar het ontsteken maximaal 2s duurt.

De smoorspoel zorgt ervoor dat de lampstroom enigszins sinusvormig is. TL buizen kunnen zich enigszins asymmetrisch niet lineair gedragen. Dit kan leiden tot DC stroom, ondanks dat er sprake is van een zuivere AC spanning. DC stroom door de lamp wordt voorkomen door C6.

R2 dient om parasitaire resonantie (gedempte trilling) rond 1 MHz met de vanuit de terugkoppelspoel geziene spreidingszelfinductie te voorkomen.

3. Eerste keer opstarten en tips.

3.1. Veiligheid.

Ondanks de hoge spanning, is de kans op elektrocutie minimaal. Dit komt door de hoge werkfrequentie van 100 kHz. Het vermogen dat de schakeling kan leveren (bij optimale ohmse belasting) bedraagt minder dan 15W. Dit betekent wel dat brandwonden kunnen ontstaan. Brandwonden veroorzaakt door HF-energie zijn in de regel diep en genezen daardoor minder goed, zelfs al is de huid aan de oppervlakte slechts licht beschadigd.

Waarschuwing:

Indien u deze schakeling wenst te gebruiken (in combinatie met een gelijkrichter) voor het laden van condensatoren of elco's (flitsers, pulstoepassingen, etc), dan ontstaat een gevaarlijke combinatie welke een dodelijke schok op kan leveren.

Gebruik gereedschap en verbruiksmateriaal dat geschikt is voor de optredende stroom en spanning. Indien uw voeding grote vermogens kan leveren is een brandblusser in de nabijheid geen overbodige luxe. Laat experimentele schakelingen niet onbeheerd in bedrijf en zorg ervoor dat andere personen en (huis)dieren niet in gevaarlijke situaties belanden. Wees voorzichtig met de TL-buizen. TL buizen bevatten kwik. Kwik is schadelijk voor de gezondheid. Lever afgedankte TL buizen in bij de gemeente (klein chemisch afval).

3.2. Eerste keer opstarten en tips.

Enkele tips:

- Controleer de polariteit van de terugkoppelspoel (Lg). Als de drainspanning stijgt, dient U_g te dalen.
- De FET kan overlijden t.g.v. statische elektriciteit. Indien u zichzelf en de soldeerbout aardt aan de schakeling (via bijv. een 100 K weerstand) en de MOSFET aan de tap beetpakt, is de kans op ESD schade minimaal.
- Indien u de MOSFET op de print schroeft, zorg dan dat geen sluiting ontstaat met een eventuele koperlaag aan de onderzijde (dubbelzijdig printmateriaal).
- Heeft u geen oscilloscoop, maak dan een enkelzijdige gelijkrichter op basis van een IN4148 of equivalent in serie met een 47 Ohm weerstand en een 1..10nF afvlak C. U kunt dan met een gewone multimeter U_{d-top} bepalen.
- Voor het bepalen van de hoogspanning heeft u een hoogspanning "*ultra fast recovery*" diode nodig (bijv UF4007 [General Semiconductor]). U dient rechtstreeks op de transformator te meten. Meet u na de condensator, dan werkt de detector niet. De voltmeter toont 1.4·Vrms. Gebruik geen gewone diodes (zoals 1N4007).
- Zorg dat S_strike niet over Rbias1 geplaatst is, zo ja, dan overlijdt de schakeling bij indrukken van S_strike.
- Als de lamp niet aanslaat, controleer dan de serieschakeling van de twee wikkelingen op de buitenbenen.

Eerste keer opstarten doet u met een serieweerstand in de voeding van 10..22 Ohm en niet aangesloten lamp. Zet de 5 kOhm instelpotmeter in de middenstand. Gebruikt u een accu, neem dan een 1.5A zekering op.

Het nullast verbruik is laag (beneden 80mA). U_{dtop} is groter dan 24V. De oscillatorfrequentie ligt rond de 75 kHz. Als de frequentie aanmerkelijk lager of hoger is, is de luchtspleet tussen de kernhelften waarschijnlijk niet correct. Controleer ook het aantal primaire windingen (4T). Ook kan er sluiting in een van de hoogspanningswikkelingen aanwezig zijn (de frequentie is dan te hoog).

Indien alles OK, verwijder de serieweerstand en sluit de schakeling weer aan. Stel de potmeter zodanig in opdat $U_{d-top} = 30V$. De amplitude van de oscillatie dient zeer stabiel te zijn. Meet eventueel de hoogspanning met een diodedetector. De voltmeter zal in orde van 230V aangeven. De FET zou wat te vroeg in kunnen schakelen. Dit is te herkennen aan het ineens steiler worden van de neergaande flank van U_d (op de oscilloscoop). Dit is geen probleem, mits het niet optreedt indien de lamp brandt.

Zet de schakeling uit, sluit de lamp aan. Afhankelijk van de manier van starten kunt u de elektroden per kant wel of niet kortsluiten. Plaats de lamp op een metalen strip welke aan één zijde aan de lampelektrode verbonden is. Houdt de draden welke naar de lamp gaan bij elkaar (EMC). Zet de schakeling aan. De lamp zal nu weinig licht geven. Druk op de startknop (S_strike) en laat hem los zodra de lamp oplicht. Soms ontsteekt de lamp direct na het aanzetten van de inverter, dan is de startknop niet nodig. Houdt de knop nooit langer dan 2...3 seconden ingedrukt. Als de lamp niet binnen 1.5 seconde aanslaat, is er iets mis.

Indien u "pre-heat" start gebruikt, drukt u kort na het aanzetten 2-3 s op de kortsluitknop en de lamp ontsteekt direct na het loslaten. De transformator/smoorspoel combinatie is in dit geval slechts op 1 pin per buiseinde aangesloten. Deze manier van starten en bedrijf leidt niet tot kortere levensduur.

De intensiteit zal hoger zijn dan van de meeste commercieel verkrijgbare batterijgevoede lampen. Als u denkt dat de lamp te fel brandt, vervang de lamp dan door een weerstand van rond de 150 Ohm en meet met een oscilloscoop of diodegelijkrichter de spanning direct op de weerstand (diodegelijkrichter met afvlakcondensator geeft de topwaarde weer). Vervolgens kunt u de lampstroom uitrekenen. Vergeet niet naar effectieve waarde om te rekenen. Als de lamp niet fel genoeg brandt, heeft u waarschijnlijk een van de hoogspanningswikkelingen verkeerd aangesloten. Tijdens bedrijf is de frequentie ongeveer 110 kHz.

Indien u de spanning meet op de draden welke naar de weerstand gaan, en een draad zou loskomen, dan verschijnt de hoge onbelaste spanning op uw oscilloscoop.

4. EMC (Elektro Magnetische Compatibiliteit).

4.1. Inleiding.

Zodra in een schakeling wisselspanning en –stroom voorkomt, bestaat er een risico dat er energie in de vorm van E- en H-velden of EM-straling naar buiten treedt. Ook deze inverter wekt wisselspanning op met een relatief hoge frequentie (rond 100 kHz). Eventuele harmonischen kunnen interfereren met draadloze systemen (LW, AM en HF ontvangstapparatuur).

Het aandeel van harmonischen in deze schakeling is (gelukkig) beperkt. Een goed geplaatste Cd (zie schema) voorkomt dat hogere harmonische stroomcomponenten in I_{drain} een eigen leven gaan leiden. De Drainspanningsvorm lijkt op een enkelzijdig gelijkgerichte sinus. De harmonische componenten in U_d nemen af met tenminste f^2 . Dit is een voordeel ten opzichte van een blokvormige U_d (zoals in niet-resonante omzetter). De smoorspoel zorgt samen met de lamp eveneens voor een laagdoorlatende functie. Harmonische componenten in de uitgangsstroom van de inverter (de lampstroom) zullen afnemen met f^3 (voor de bijbehorende vermogens geldt dus f^9).

Door het relatief traag schakelen van de FET, nemen harmonische componenten boven 3 MHz aanmerkelijk sneller af. Indien u besluit om de FET via een driver aan te sturen, is enige toename in harmonischen merkbaar in het gebied boven ongeveer 3 MHz (ten opzichte van de hier beschreven schakeling).

De oscillator in deze schakeling wekt een redelijk stabiel signaal op. Indien enige interferentie optreedt, is deze beperkt tot (smalbandige) frequentiebandjes. Er is met opzet niet gekozen om de oscillatiefrequentie te moduleren. Dit is gedaan omdat dit niet leidt tot een vermindering van de totaal uitgestraalde EM-energie, doch slechts een spreiding ervan.

De conversie van stroom naar een E-, H-, of stralingsveld is sterk afhankelijk van:

1. De stroom door een lus of draadje (recht evenredig met \hat{I}),
2. De spanning over een draad (recht evenredig met \hat{U}),
3. De afmetingen van een lus (oppervlak) of lengte van een draadje (recht evenredig met draadlengte of lusoppervlak, of hoogte boven grondvlak),
4. De frequentie (evenredig met $f \dots f^2$), Ja, het stralingsveld ten gevolge van een stroomlusje is recht evenredig met f^2 (¡dus vermogen evenredig met f^4 !).

Punt 4 is de doorslaggevende reden dat veel systemen RF-energie uitstralen op veelvouden van hun werkfrequentie(s). Er is echter veel aan te doen.

4.2. EMC-Tips t.b.v. deze inverter.

De tips hebben tot doel om geen tot minimale interferentie te veroorzaken in radioamateurtoepassingen.

Bouw uw schakeling op een geleidend grondvlak, de RF emissie van de driver ligt dan ver beneden de huidige limieten voor IT apparatuur (computers, modems, etc).

Verhoogde emissie kan ontstaan rond de trafo en de bedrading naar de lamp. De lamp heeft redelijke afmetingen en er dient een draad naar toe te gaan (en retour te

komen). De spanning is relatief hoog. In principe is het mogelijk om het oscillatorsignaal extra te filteren om harmonischen van de schakelfrequentie te onderdrukken. Extra resonerende circuits in combinatie met oscillatoren is echter een bron van ellende: de oscillator kan op een parasitaire resonantie aan het oscilleren gaan, de golfvormen kunnen sterk vervormd raken waardoor het rendement verandert, vaak is toevoeging van enige weerstand (=verlies) noodzakelijk en het aantal componenten neemt toe.

Indien u van plan bent een metalen reflector achter de lamp te plaatsen is EMC eenvoudig voor elkaar te krijgen. Monteer de inverter op de achterkant van de reflector. De reflector is nu tevens aardvlak voor de lamp en de inverter. De lengte van aansluitdraden naar de lamp kan nu tot een minimum beperkt worden. Ik gebruik zelf een W-vormige reflector (gepolijst blik) om het licht over 135° te spreiden (de lamp bevindt zich dus in de reflector). De W-vorm voorkomt dat een deel van het licht terugreflecteert naar de lamp en daarmee het aantal Lm/W verlaagt.

Plaats de lamp relatief dicht boven het grondvlak (in orde van 1cm). Één zijde van de lamp kan nu nagenoeg rechtstreeks aangesloten worden op de reflector, de andere zijde m.b.v. een draad zo kort mogelijk naar de transformator (via C6). Zorg dat deze draad zich dicht tegen het metaal bevindt. Als u starten via de gloeidraden wenst te gebruiken (warme start), zorg dat de drukknop zich dicht bij of op de reflector bevindt en dat de draden eveneens dicht langs de reflector lopen en zo kort als mogelijk zijn (enkele cm is in de praktijk haalbaar). Ik gebruik "warme start" (en gebruik dus niet S_strike).

Meting toont aan dat na uitvoering van bovenstaande maatregelen de transformator het meeste bijdraagt aan de emissie. Dit is niet vreemd, hier treedt de hoogste spanning op en daarmee ook de hoogste capacatieve stroom (welke zowel E- als H-velden opwekt). Om de emissie van de trafo sterk te verminderen, bevindt de trafo zich eveneens op het grondvlak van de PCB (de trafo ligt plat). Boven de trafo bevindt zich afscherming welke op 4 punten met het grondvlak verbonden (dus dat hoeft niet helemaal rondom te gebeuren). Het schermpje (stukje printmateriaal boven op de trafo) steekt aan weerskanten ong. 10 mm over de trafo heen. Er wordt aangeraden om de transformator niet strak in te pakken in geleidende folie. Dit omdat deze transformator een luchtspleet heeft en daardoor wat strooiveld opwekt. Inwikkelen in geleidende folie leidt tot hogere verliezen en verandering van de koppelfactor.

Verdere verbetering kan verkregen worden door parallel aan de uitgang van de trafo (dus parallel aan de lamp) twee condensatoren van 220pF te plaatsen. In serie met één van de condensatoren dient men een 0.5W 1.5k Ohm weerstand te plaatsen. Het vermindert hogere harmonische spanningscomponenten boven 3 MHz. De weerstand dient om te voorkomen dat bij onbelast bedrijf (bijv defecte of niet ontstoken lamp), parasitaire resonantie ontstaat. Tijdens normaal bedrijf is de dissipatie in de weerstand minder dan 60mW.

Indien de lamp niet van een reflector voorzien wordt, is het raadzaam om een gaasconstructie rondom de lamp aan te brengen welke aan de massa van de inverter verbonden wordt. De metalen constructie kan dan ook direct als mechanische bescherming voor de lamp dienen.

5. Verbeteringen en modificaties.

Rendement. De MOSFET dissipeert in deze schakeling iets minder dan 800mW. Dit is 13% van het lampvermogen. De dissipatie wordt veroorzaakt door het traag uit geleiding komen van de MOSFET.

Indien u de terugkoppeling laat lopen via een FET driver/comperator combinatie, neemt de dissipatie van de MOSFET (inclusief interne freewheel diode) af tot onder 200mW tijdens nominaal bedrijf (drainrendement van bijna 97%). De oscillatiefrequentie wordt nagenoeg onafhankelijk van de transistoreigenschappen. De uitgangsspanning van de oscillator laat zich makkelijk instellen.

Indien de "koude start" mogelijkheid niet nodig is en een geïntegreerde FET driver gebruikt wordt, blijft het aantal benodigde componenten nagenoeg gelijk. Met "koude start" is het ontwerp complexer.

Transformator. De transformator is bijzonder groot (N67 E42/21/15). Door een kleinere kern te kiezen en het verhogen van de fluxdichtheid blijven de kernverliezen nagenoeg gelijk (evt. sneller materiaal gebruiken). De Inverter wordt een stuk compacter en ongewenste emissie is makkelijker in de hand te houden.

Stabilisatie stroom. De stroom voor de schakeling loopt nu via Rvar1 en Rbias1. Door Rvar1 te vervangen door een stroombronschakeling, wordt de lampstroom minder afhankelijk van de voedingsspanning. Met extra componenten kan men een stroombron maken waarvan de sterkte afneemt bij toenemende voedingsspanning. Hiermee is de lampstroom, en daarmee de lichtintensiteit, nagenoeg niet meer afhankelijk van de voedingsspanning.

Automatische start. Indien men eenmaal over een gestuurde stroombron beschikt, kan men met een timer en een lampstroommeting de lamp automatisch starten.

Meting van de lampspanning. Bij nominale lampstroom is de lampspanning een maat voor de ouderdom van de lamp. Hoe hoger de lampspanning, hoe hoger het toegevoerd vermogen (bij gelijkblijvende lampstroom). Indien het toegevoerde vermogen te hoog is, kan de lamp te warm worden. De lampspanningsbewaking kan oververhitting voorkomen.

accuspanningsbewaking. Veel 6...24V inverters worden gevoed vanaf een loodaccu. Indien deze te diep ontladen wordt, ontstaat (onherstelbare) schade aan de accu. Het is aan te raden om de lamp uit te laten schakelen beneden een accuspanning van 10.5V. Wel is het nuttig om alvorens uit te schakelen een optisch of akoestisch signaal af te geven. Men zou een aantal LED's kunnen laten branden als oriëntatieverlichting.

Gebalanceerde versie. Klasse E schakelingen zijn zeer geschikt voor hoge frequenties. Dit ontwerp is prima aan te passen naar bijv 500 kHz. Het nadeel van dit circuit is het relatief hoge product van $U_{d-top} \cdot I_{d-top}$. Dit betekent dat een relatief zware transistor nodig is. Een gebalanceerde klasse E oscillator ("zero voltage switching oscillator") is in dat opzicht gunstiger. Cdcp kan aanmerkelijk kleiner zijn. De transformator kan ook iets compacter zijn. Men kan echter niet over de eenvoudige "lamp strike" mogelijkheid beschikken (warm starten blijft mogelijk). Tevens mist men de eenvoudige vermogensinstelling.

Indien u een gebalanceerde converter met nagenoeg blokvormige uitgangsspanning kiest, dient u zich te realiseren dat het volledig reactief vermogen door de actieve component geleverd dient te worden en de golfvormen aanzienlijk meer hogere harmonischen bevatten. Een condensator als stroombeperkend element wordt afgeraden in verband met de hoge piekstroom en EMC. Dubbel resonantie circuits (opwekken van koude start ontsteekspanning) in combinatie met vrijlopende oscillatoren zijn behoorlijk lastig te ontwerpen. In dat geval kunt u beter uitgaan van een losse oscillator/driver in combinatie met een hele of halve brug ("*direct drive*" topologie). Er zijn diverse chips op de markt die speciaal bedoeld zijn voor het sturen en regelen van resonerende bruggen.

6. Ondersteuning.

Bedrijven en instellingen kunnen bouwen op de ervaring binnen TeTech. TeTech kan u helpen bij het ontwerp of redesign van (vermogens)elektronica. Voor meer informatie kunt u contact opnemen met Wim Telkamp (wimtel@totech.nl).

Voor hobbyisten is op beperkte schaal gratis ondersteuning mogelijk. Controleer uw circuit alvorens contact op te nemen met TeTech! Hierdoor kan TeTech op beperkte schaal gratis support blijven bieden. U kunt vragen en/of suggesties tot verbetering sturen aan divers@totech.nl.

Wim Telkamp.

--EINDE DOCUMENT--